Persian 41305

Prediction of Process Parameters in EDM using Genetic Algorithm to Obtain Desired Machining Outputs

F. Kolahan[1], and A. Khodaee[2]
Mechanical Engineering Department,Factuly of Engineering, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
kolahan@um.ac.ir

Abstract

Electrical Discharge Machining (EDM) is one of the non-traditional manufacturing techniques widely employed in die manufacturing, repairs and production of special industrial parts. There are different process parameters settings in this method, each of which influences the machining speed and specifications such as surface roughness, material removal rate, electrode wear rate, etc. The main process parameters in EMD include voltage, current, on-time (discharge time) and electrodes distance. In this paper, the mathematical relationship between process inputs and outputs is established. Then, using an error function, the process input parameters are predicted in such a way that a desired machining quality is obtained. This prediction is performed by minimizing the error function with the help of a Genetic Algorithm.

Keywords: EDM, Process Parameters, Prediction, Genetic Algorithm.

1- Assistant Professor
2- Graduate Student

پیش بینی متغیرهای تنظیمی ماشینکاری EDM به کمک الگوریتم ژنتیک جهت رسیدن به پارامترهای خروجی مورد نظر

فرهاد کلاهان[۱]، علیرضا خدائی[۲]
استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد
kolahan@um.ac.ir

چکیده

ماشینکاری با تخلیه قوس الکتریکی (Electrical Discharge Machining – EDM) یکی از روشهای تولید مخصوص می باشد که در قالب سازی، تعمیرات و تولید قطعات خاص صنعتی کاربرد گسترده ای دارد . متغیرهای مختلفی درتنظیمات این فرآیند به عنوان ورودی سیستم مد نظر قرار می گیرند که هر کدام ازآنها بر کیفیت و سرعت ماشینکاری مانند صافی سطح، سرعت براده برداری، خوردگی الکترود و... اثر دارند. یارامترهای مهم تنظیمی در ماشینکاری EDM شامل ولتاژ، شدت جریان، زمان جرقه زنی و فاصله بین الکتودها میباشند. در این مقاله ارتباط ریاضی ورودی ها و خروجی های فرآیند EDM استخراج شده و سپس با تعریف یک تابع ابتکاری که خطای پیش بینی را محاسبه می کند، متغیرهای ورودی جهت رسیدن به خروجی‌های مطلوب پیش بینی می‌گردند. این پیش بینی از طریق حداقل کردن مقدار تابع خطا و به کمک ژنتیک الگوریتم صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای ماشینکاری EDM - پیش بینی- مدلسازی ریاضی- الگوریتم ژنتیک

۱- مقدمه

ماشینکاری به روش(EDM) یک شیوه ماشینکاری غیر تجاری است که در آن براده برداری با تخلیه الکتریکی بین ابزار و قطعه کار انجام می گیرد. در این روش، تخلیه الکتریکی باعث ایجاد حرارت موضعی بسیار زیاد و در نتیجه ذوب و تبخیر بخش کوچکی از قطعه کار می‌شود. دو الکترود به نامهای ابزار و قطعه کار درون سیالی به نام دی الکتریک غوطه ور هستند. عمل تخلیه الکتریکی در فضای بین ابزارو قطعه کار (GAP) منجر به تولید جرقه های پیاپی شده و هرجرقه جز کوچکی ازماده را از سطح قطعه جدا می کند . با پیشروی این روند شکل ابزار درون قطعه کار بوجود می آید.

اولین کاربرد روش EDM در زمان جنگ جهانی دوم در انستیتوی تحقیقاتی مسکو توسط آقا و خانم لازارنکو بوده است[۱]. همچنین اولین پیشرفتهای مهم در استفاده از این روش به عنوان یک روش تولید صنعتی, هم توسط این دو دانشمند صورت گرفته است. یکی از این نو آوریها مربوط به استفاده از یک مدار الکتریکی(RC) در سیستم کنترل دستگاه بود که منجر

۱- استادیار گروه مکانیک (گرایش ساخت و تولید)، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک, گرایش طراحی کاربردی

به تامین قابلیت کنترل زمان جرقه گردید. دیگر پیشرفت مهم در این زمینه نیز بکاربردن یک سرو کنترل ساده جهت تنظیم فاصله بین الکترود و قطعه کار بود.

یکی از محدودیتهای اصلی این روش مربوط به جنس ابزار و قطعه کار است . برای تشکیل مدار الکتریکی احتیاج است که قطعه کار و ابزار هر دو هادی جریان الکتریسیته باشند . از مزیتهای عمده آن نیز می توان به دقت ابعادی بسیار بالا در تولید و عدم وابستگی شرایط ماشینکاری به خواص مکانیکی قطعه (از قبیل تنش تسلیم و استحکام، مدول الاستیسیته و سختی) و همچنین قابلیت تولید حفرهای پیچیده اشاره کرد. با توجه به این خاصیت می توان عملیات ماشینکاری را بر روی قطعات فولادی سخت شده نیز به راحتی انجام داد. این قابلیت کاربرد روش مزبور را در صنایع قالب سازی بسیار گسترده نموده است.

پارامترهای مختلفی در دستگاه(EDM) به عنوان متغیرهای تنظیمی اولیه از سوی اپراتور می‌بایست مشخص شوند. متغیرهائی از قبیل ولتاژ تخلیه، شدت جریان الکتریکی، زمان روشنی و خاموشی جرقه، مدت زمان کل سیکل، فاصله میان ابزار و قطعه کار، قطبش ابزار و قطعه کار و فشار شستشوی دی الکتریک از جمله پارامترهای اصلی تنظیم دستگاه می باشند. این عوامل بر روی کیفیت ماشینکاری و شاخص‌های خروجی فرآیند از قبیل سرعت براده برداری، صافی سطح، نرخ خوردگی الکترود و گشادی کناری حفره، تاثیر بسزایی دارند. در این تحقیق دو هدف عمده دنبال شده است: ۱) تبیین رابطه ریاضی بین پارامترهای تنظیمی و خروجیهای فرآیند به کمک روش رگرسیون و ۲) طراحی و ارائه روشی بمنظور تعیین سطوح بهینه پارامترهای تنظیمی با توجه به خروجیهای مورد نظر

در این تحقیق ازمیان پارامترهای ورودی سه متغیر اصلی زمان برقراری جریان، نسبت سیکل جرقه زنی و شدت جریان به عنوان سه پارامتر ورودی و سرعت براده برداری، درصد خوردگی الکترود و صافی سطح قطعه کار در پایان کار به عنوان سه مشخصه خروجی در نظر گرفته شده است [۲] در زیر مفاهیم این پارامترها بصورت اجمالی توضیح داده شده است.

زمان روشنی پالس[1] (T_i) : زمانی است که در هر سیکل جریان برقرار شده و جرقه زنی انجام میگیرد. نرخ براده برداری به صورت مستقیم با این زمان در ارتباط است. زیرا این زمان مشخص کننده مقدار انرژی در هنگام تخلیه است. این پارامتر معمولا بر حسب میکرو ثانیه سنجیده می شود.

نسبت سیکل[2] (K): نسبت زمان برقراری جریان به کل زمان یک سیکل را مشخص می کند. این پارامتر مقداری بین صفر تا یک اختیار می‌نماید.

شدت جریان (I) : شدت جریان تخلیه را نشان داده و بیانگر مقدارر شدت جریانی است که می تواند توسط منبع تامین قدرت درماشین برقرار شود.

صافی سطح (R_a) : یکی از ویژگی های مهمی که در ماشینکاری هر قطعه مد نظر قرار می گیرد صافی (ناصافی) سطح حاصل از ماشینکاری است. معمولا صافی سطح بر اساس استاندارد (ISO 4287 norm) محاسبه شده [۳] و بر حسب میکرومتر بیان می گردد.

نرخ براده برداری (MRR[3]) : این پارامتر هم از جمله خروجی های بسیار مهم در هر عملیات ماشینکاری محسوب میگردد. سرعت عملیات ماشینکاری توسط این پارامتر سنجیده می شود. نرخ براده برداری برابر حجم ماده کاسته شده ر نتیجه ماشینکاری در واحد زمان است که با توجه به رابطه زیر محاسبه میشود.

$$MRR = \frac{VMRP}{T}$$

[1] On Time
[2] Duty Cycle
[3] Material Removal Rate

VMRP: حجم ماده برداشته شده از قطعه کار

T: زمان ماشینکاری

درصد خوردگی الکترود[1] (EW): این مقدار نمایانگر نسبت خوردگی ابزار به حجم براده برداری است. خوردگی الکترود به دلیل تخلیه الکتریکی در فاصله هوایی میان قطعه کار و الکترود پدیده ای اجتناب ناپذیر می باشد، زیرا همزمان با ذوب قطعه کار و براده برداری از روی آن بخشی از الکترود نیز ذوب شده و از بین می رود. محاسبه این پارامتر هم به روش ساده ای انجام پذیر است. به این ترتیب که حجم ماده کم شده از قطعه کار و الکترود را حساب و با نسبت ساده زیر درصد خوردگی حساب می شود.

$$EW = \frac{VMRE}{VMRP}$$

VMRE: حجم ماده خورده شده از الکترود

VMRP: حجم براده برداشته شده از قطعه کار

۲- مروری بر ادبیات موضوع و مدلسازی فرآیند

تا به امروز تحقیقات و آزمایشات بسیاری در زمینه شناسایی اثر پارامتر های مختلف ماشینکاری به شیوه تخلیه الکتریکی صورت گرفته است. در اکثر قریب به اتفاق این پژوهش ها ابتدا سعی در شناسایی و استخراج یک رابطه منطقی ریاضی بین ورودی های سیستم با خروجی های آن شده است. برای این منظور اغلب از روشهای رگرسیون یا شبکه های عصبی استاده گردیده است. برخی از تحقیقات نیز به ارائه روشهایی پرداخته اند که بتوان با انتخاب پارامترهای مناسب ورودی به خروجی-های مورد نظر دست یافت.

مارافونا و وایک [۴]، یک روش جدید برای بهینه سازی نرخ براده برداری با استفاده از الکترودهای مسی ارائه کرده‌اند. نتایج این تحقیق منجر به طراحی یک پروسه دو مرحله ای گردید. در مرحله ابتدایی با یک شدت جریان کم و دوره پالس بلند عملیات آغاز می شود. اینگونه تنظیم باعث سرعت براده برداری بالا و درصد خوردگی الکترود پائین، بدلیل تشکیل یک لایه محافظ کربنی بر روی الکترود، می شود در مرحله دوم ماشینکاری, شدت جریان و دوره پالس به گونه ای تنظیم می شود که صافی سطح به حداکثر ممکن رسیده و درصد خوردگی الکترود کاهش یابد. وانگ و یوآن[۵] یک روش هیبریدی هوشمند برای مدل سازی ماشینکاری با تخلیه الکتریکی ارائه داده اند. در این تحقیق آنها با طراحی یک آزمایش تجربی با الکترودهای گرافیتی به بررسی پارامترهای مختلف تاثیر گذار روی این نوع ماشین کاری پرداخته اند. سپس با استفاده از یک مدل ترکیبی از شبکه های عصبی و ژنتیک الگوریتم رابطه میان پارامترهای ورودی شامل زمان روشنی و خاموشی پالس، حداکثر شدت جریان تخلیه، ولتاژ فضای خالی بین الکترود و قطعه کار، فضای خالی و حساسیت سیستم کنترلی دستگاه را با دو پارامتر خروجی صافی سطح و سرعت براده برداری به دست آمده است.

پورتاس و لوئیس [۲]، به مدل سازی فرایند به کمک رگرسیون آماری پرداخته و رابطه بین صافی سطح را با سه پارامتر ورودی شدت جریان، زمان برقراری جریان(روشنی جرقه) و زمان خاموشی جریان به صورت ریاضی استخراج کرده اند. آنها با استناد به این رابطه به تاثیرنپذیرفتن زیاد صافی سطح از زمان روشنی و خاموشی پالس اشاره نموده مهم ترین عامل تاثیرگذار در روی صافی را سطح شدت دانسته‌اند. در تحقیق دیگری [۱] آنها به تکمیل کار قبلی خود پرداخته و این بار رگرسیون را برای استخراج روابط بر مبنای سه پارامتر ورودی شدت جریان،زمان برقراری جریان(روشنی جرقه) و نسبت سیکل کاری دستگاه با هر یک از پارامترهای سرعت براده برداری، درصد خوردگی الکترود و صافی سطح انجام، مورد استفاده قرار داداند. بمنظور گردآوری داده های تجربی، آزمایشات بر روی ماده ای مرکب از جنس کاربید تنگستن و با الکترودهای مسی صورت

[1] Electrode Wear

گرفته است. ولی علی رغم استخراج مدل ریاضی حاکم بر فرآیند، هیچگونه تلاشی برای بهینه سازی پارامرهای ماشینکاری با توجه مشصات مورد نیاز صورت نگرفته است.

در تحقیق حاضر نتایج تجربی پورتاس و لوئیس بعنوان مرجع و بمنظور بهینه سازی پارامترهـای EDM مـورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۱ نشان دهنده نتایج آزمایشات می باشد.

جدول ۱: ماتریس نتایج آزمایشات طراحی شده برای استخراج مدل [۱]

Experiment No	I(A)	On Time (µs)	Duty cycle (K)	R_a(µm)	Electrode Wear(%)	Material Removal Rate(mm^3/min)
۱	۳	۱۰	۰/٤	۰/٦٦	۳٦/۵۱	۰/۰۵۵
۲	۵	۱۰	۰/٤	۱/۲٤	۱۵/۳۲	۰/۲٤۸
۳	۳	۵۰	۰/٤	۰/٦٦	۷۱/۵۸	۰/۰۱۲
٤	۵	۵۰	۰/٤	۱/۹۳	۱۲/۰۹	۰/۲۰۲
۵	۳	۱۰	۰/٦	۰/٦۵	۳۲/۲۵	۰/۰۹
٦	۵	۱۰	۰/٦	۱/۳۷	۱۵/۵٤	۰/٤۲۸
۷	۳	۵۰	۰/٦	۰/٦٤	۷۱/۷۷	۰/۰۲
۸	۵	۵۰	۰/٦	۲/۰۲	۱۱/۰۹	۰/۳۱۸
۹	۳	۳۰	۰/۵	۰/٦٤	٦٦/٤۱	۰/۰۲٦
۱۰	۵	۳۰	۰/۵	۱/۷۵	۱۱/۰۲	۰/۲۷۹
۱۱	٤	۱۰	۰/۵	۱/۱۱	۱۷/۳٤	۰/۲۳٦
۱۲	٤	۵۰	۰/۵	۱/۷۳	۱۵/۲۱	۰/۱۵۵
۱۳	٤	۳۰	۰,٤	۱/٤۳	۱٤/۹۳	۰/۱٤۷
۱٤	٤	۳۰	۰,٦	۱/۵٤	۱۳/۳۵	۰/۲٤٦
۱۵	٤	۳۰	۰/۵	۱/٤۳	۱٤/۲۹	۰/۱۹۳
۱٦	٤	۳۰	۰/۵	۱/۳٤	۱٤/۱۵	۰/۱۹٤
۱۷	٤	۳۰	۰/۵	۱/۳۹	۱٤/۰۸	۰/۱۹٤
۱۸	٤	۳۰	۰/۵	۱/٤۲	۱٤/۰۹	۰/۱۹٤

در جدول فوق سه ستون اول (به جز شماره ردیف) نـشان دهنـده ورودی‌هـای آزمایـشات و سـه سـتون بعـد خروجی‌های تست‌ها هستند. در انجام آزمایشات برای متغییرهای شدت جریان (I) و زمـان روشـنی پـالس (T_i) سـه سطح مختلف، و برای پارامتر نسب سیکل (K)، دو سطح در نظر گرفته شده است.

با استفاده از نتایج تجربی و به کمک رویکرد میانیابی ریاضی (رگرسیون)، مدل ریاضی درجه دوم نشان دهنـده ارتباط بین پارامترهای تنظیمی و خروجی‌های فرآیند EDM بصورت زیر استخراج می‌گردد:

$$R_a = -3.04141 + 2.19567I - 0.0168304T_i - 3.61815K - 0.262381I^2 + 0.0084375I.T_i + 0.3125I.K - 0.0000934524\,T_i^2 - 0.003125T_i.K + 2.7619K^2 \quad (1)$$

$$EW = 315.152 - 181.578I + 2.37548T_i + 269.637K + 21.8262I^2 - 0.495464I.T_i + 0.370479I.K - 0.00153199T_i^2 + 0.0144416T_i.K - 274.99K^2 \quad (2)$$

$$MRR = -0.308324 + 0.261212I + 0.00100986Ti - 1.50491K - 0.0354634I2 - 0.000262867I.Ti + 0.314985I.K + 0.000018467Ti^2 - 0.00562663Ti.K + 0.852392K^2 \quad (3)$$

مدل‌های ریاضی فوق مقایر خروجی‌ها را بر اساس مجموعه‌ای از پارامترهای تنظیمی نشان میدهد. ولی در اکثر کاربردهای عملی هدف رسیدن به کیفیت مورد نظر از طریق تعیین بهینه پارامترهای تنظیمی است. با توجه به شکل پیچیده روابط ریاضی فوق، تعیین بهینه پارامترهای تنظیمی بصورت حل مستقیم بسیار دشوار است.

در این مقاله با رویکرد جدید حل معادلات معکوس به مسئله مدلسازی و بهینه سازی نگاه شده است. به بیان دیگر، با استفاده از روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک[1]، یک تابع خطا بنحوی کمینه میگردد تا مقادیر بهینه پارامترهای ورودی برای هر خروجی مورد نظر تعیین شوند. رویکرد این مقاله، بدست آوردن متغیرهای تنظیمی مناسب برای کیفیت تعریف شده مورد نظر است. بنابراین می توان مسئله جدیدی به شرح زیر مطرح کرد.

۳-طرح مسئله

همانطور که در بخش قبل تشریح شد، تنظیم همزمان سه متغیر شدت جریان، نسبت سیکل و زمان جرقه زنی بصورتی که منجر به کمترین مقدار ناصافی سطح، کمترین خوردگی ابزار و حداکثر مقدار نرخ براده برداری شود، بسیار دشوار است. بنابر این مسئله جدیدی که می توان طرح کرد آنست که چگونه سه متغیر I,T_i,K را تنظیم کنیم تا به مقادیر مورد نظر MMR, EW,Ra دست یافت. این مقدارها مسلما باید بهترین ترکیب قابل دستیابی برای سرعت براده برداری, درصد خوردگی و صافی سطح باشند. پس مسئله یافتن روشی است که با دریافت MRR, EW, Ra مورد نیاز پارامترهای تنظیمی T_i, K, I مناسب جهت دستیابی به آن مقادیر را تعیین نماید.

در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک و تعریف یک تابع ابتکاری خطا مسئله معکوس بهینه سازی حل شده است. برای حل این مسئله از یک تابع کمکی به عنوان معیار شایستگی در ژنتیک الگوریتم استفاده شده است. در این روش حل، با دریافت خروجی های مطلوب آنها را با مقادیر بدست آمده از مدل مقایسه کرده و سعی در مینیمم کردن اختلاف این دو مقدار که با تابع زیر محاسبه شده است می شود. این مینیمم سازی به کمک ژنتیک الگوریتم و کد نویسی در نرم افزار (MATLAB) صورت می گیرد. تابع مجموع مربعات خطاها بصورت زیر تعریف میشود:

$$EF = \frac{(MRR_d - MRR)^2}{MRR_d} + \frac{(EW_d - EW)^2}{EW_d} + \frac{(Ra_d - Ra)^2}{Ra_d} \quad (4)$$

در تابع فوق پارامترهایی که با اندیس (d) مشخص شده مقدار محاسبه شده توسط الگوریتم و پارامترهای بدون اندیس در هر جمله بیانگر مقدار حاصل از مدل (روابط ۱و۲و۳) می‌باشند.

[1] Genetic Algorithm - GA

در بخش بعد با معرفی تابع فوق به عنوان معیار شایستگی در الگوریتم ژنتیک به مینیمم سازی آن پرداخته شده و در ادامه نتایج بدست آمده از این روش در حل مدل روابط ۱و۲و۳ برای رسیدن به سه پارامتر I,T_i,K بیان شده است.

۴- روش حل - الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک اولین بار توسط جان هالند در ۱۹۷۵ برای بهینه سازی مسائل پیچیده پیشنهاد شد. الگوریتم ژنتیک از الگوریتم های تکاملی است که بر اساس انتخاب شایسته ترین افراد و تکامل نسل های متوالی، استوار است. این روش، تقلیدی از فرایند تکامل با استفاده از الگوریتم های رایانه ای است. اساسی ترین اصل تکامل، وراثت است. هر نسل، خصوصیات نسل قبلی را به ارث می برد و به نسل بعد انتقال می دهد. این انتقال خصوصیات، از نسلی به نسل دیگر با ژن ها صورت می گیرد. بنابراین در الگوریتم ژنتیک دو قانون کلی وجود دارد:

۱- در هرنسل شایسته ترین اعضا شانس بیشتری برای بقا دارند.

۲- در هر نسل جواب های موجود (والدین) ترکیب می شود و بدین ترتیب جواب های حاصل (فرزندان) بخشی از خصوصیات والدین را انتقال خواهند داد.

الگوریتم ژنتیک جامعه ای از افراد، یا جوابهای موجه، را در نظر می‌گیرد. کار با مجموعه ای از افراد، امکان مطالعه ساختارها و ویژگیهای اصلی افراد متفاوت را که منجر به شناسایی و کشف راه حلهای کارآمد تر می شود، فراهم می‌سازد. در طی جستجو نسل‌های متوالی از طریق دو عملگر تلفیق و جهش ایجاد شده و بر اساس یک تابع شایستگی ارزیابی میشوند. هدف بهبود سطح جواب‌ها در هر نسل با حفظ و ارتقا خصوصیات خوب جواب‌ها است. به این ترتیب، الگوریتم ژنتیک رشته های متناسب با ارزش بالاتر را برمی گزیند و آن دسته از رشته‌هایی را که تناسب کمتری با تابع شایستگی دارند را حذف می‌کند. مراحل الگوریتم ژنتیک به شرح زیر بیان می شود.

گام صفر) ورود پارامترهای الگوریتم (تعداد جمعیت هر نسل، معیار شایستگی، نحوه تقاطع، نحوه جهش و غیره) و تشکیل نسل اولیه به طور تصادفی

گام یک) محاسبه شایستگی هر کرموزم در جمعیت و مرتب سازی بر اساس شایستگی

گام دوم) در صورت عدم ارضا شرط توقف، تولید نسل جدید و حرکت به گام اول

شرط توقف در روش GA معمولا تعداد نسل‌ها یا زمان محاسباتی است. توضیحات مبسوط در مورد این روش و برخی از کاربرهای آن در ادبیات موضوع از جمله مرجع [۶] آمده است.

۵-مثال عددی و نتایج حل

در این قسمت با استفاده از داده‌های تجربی مندرج در جدول ۱، چند مثال عددی برای بررسی رویکرد و روش پیشنهادی ارائه شده است. در اینجا نتایج حاصل از آزمایشات (در ۵ مورد بصورت نمونه) بعنوان ورودی مسئله بهینه سازی در نظر گرفته شده است. ورودی‌های مزبور تحت عنوان "پارامتر مورد نظر" در جدول ۲ لیست شده‌اند. هدف تعیین پارامترهای تنظیمی برای رسیدن به این خروجی‌ها است.

نتایج محاسباتی توسط الگوریتم GA و مقدار خطای موجود در مقایسه با مقادیر حاصل از مدل نیز در جدول ۲ آمده‌اند. همانگونه که از این نتایج مشخص است، روش پیشنهادی تا حد زیادی قادر به تخمین سطح مناسب پارامترها برای رسیدن به خروجیهای مورد نظر است. حداکثر خطا در نرخ براده برداری دیده می‌شود. در حالیکه برای سایر خروجی‌ها خطاها ناچیز بوده و در غالب موارد کمتر از ۱% است. این مقادیر با توجه به پیچیدگی فرآیند ماشینکاری EDM و تعدد و وابستگی پارامترهای آن بسیار مناسب بنظر می‌رسند.

جدول۲ : نتایج محاسباتی توسط الگوریتم ژنتیک و مقایسه خطای جواب ها

شماره آزمایش نمونه	پارامتر مورد نظر			جواب ژنتیک الگوریتم			درصد خطا(%)		
	$R_a(\mu m)$	EW(%)	MRR(mm^3/min)	$R_a(\mu m)$	EW(%)	MRR(mm^3/min)	R_a	EW	MRR
۲	۱/۲۴	۱۵/۳۲	۰/۲۴۸	۱/۲۴۲۹	۱۵/۲۸۰	۰/۲۶۷۲	۰/۲۴	۰/۲۶۳	۷/۷۶
۳	۰/۶۶	۷۱/۵۸	۰/۰۱۲	۰/۶۶۱۰	۷۱/۶۰۳	۰/۰۰۹۸	۰/۱۶	۰/۰۳	۱۷/۵۷
۶	۰/۴۲۸	۱۵/۵۴	۱/۳۷	۰/۴۳۰۸	۱۵/۵۰۱	۱/۳۷۰۷	۰/۶۷	۰/۲۴۹	۰/۰۵۳
۸	/۳۱۸	۱۱/۰۹	۲/۰۲	۰/۳۲۰۶	۱۱/۰۹۹	۲/۰۱۰۴	۰/۸۴	۰/۰۸	۰/۴۷۱
۱۰	۱/۷۵	۱۱/۰۲	۰/۲۷۹	۱/۷۴۳۷	۱۱/۰۰۲	۰/۲۷۸۹	۰/۳۶	۰/۱۶۵	۰/۰۰۰۶

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق روشیِ مبتنی بر الگوریتم ژنتیک بمنظور پیش‌بینی و تعیین سطح بهینه پارامترهای تنظیمی برای رسیدن به کیفیت ماشینکاری مورد نظر ارائه گردید. رویکرد پیشنهادی قادر است، با کمینه سازی یک تابع خطا، مقادیر مناسب پارمترهای ماشینکاریEDM را بنحوی تعیین نماید تا خروجی‌های مورد انتظار شامل صافی سطح، نرخ براده برداری و خوردگی ابزار تامین شوند. نتایج حاصل حاکی از عملکرد خوب الگوریتم ژنتیک در حل اینگونه مسائل است. با توجه به مقدار خطاهای محاسبه شده در بخش قبلی نکات زیر در این باره قابل توجه است:

۱- با توجه به پیچیدگی مدل‌های حاکم بر فرآیند ماشینکاری تخلیه قوس الکتریکی، موفقیت در تعیین پارامترهای تنظیمی برای رسیدن به کیفیت مورد نظر ماشینکاری، یک پیشرفت قابل توجه است. این مسئله خطای پیش بینی الگوریتم ژنتیک را توجیه می کند.

۲- پس از اجرای روش پیشنهادی برای تمامی داده های جدول ۱مشخص گردید که جواب مسئله برای انتخاب سه پارامتر I,T_i,K یک جواب منحصر به فرد نبوده و مسئله می تواند چند پاسخ داشته باشد.

در پایان به عنوان پیشنهاد می توان دو مسئله تعریف تابع خطا همراه با وزن دهی به پارامترهای مطلوب و همچنین یافتن مدلی که در بر گیرنده متغیرهای تنظیمی بیشتری باشد را به عنوان کارهایی که قابل بررسی بیشتری هستند، عنوان نمود.

مراجع

1- I.Puertas,C.J.Luis,L.Alvarez ,"Jounal of Materials processing Technology ",2004.

2- I.Puertas,C.J.Luis ,"Jounal of Materials processing Technology",2003.

3- Geometrical Product Specifications(GPS)-Surface texture:profile Method-Terms,Defininitions and SurfaceTexture Parameters,International Organization for standarisation,Geneva,1997,Iso 4287:1997

4- Jose Marafona, Catherine Wykes ,"International Journal of Machine Tools&Manufacture",2000.

5- Kesheng Wang,Hirpa L.Gelgele,Yi Wang,Qingfeng Yuan,Minglung Fang ,"International Journal of Machine Tools&Manufacture",2003.

6- Goldberg, N., (1989), Genetic algorithms in search, optimization and machine learning, Addison-Wesley, New York.